

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11040890 A**

(43) Date of publication of application: **12.02.99**

(51) Int. Cl.

H01S 3/18
H01L 33/00

(21) Application number: **09189885**

(22) Date of filing: **15.07.97**

(71) Applicant: **NEC CORP**

(72) Inventor: **KIMURA AKITAKA**
NIDOU MASAOKI

(54) **LOW-RESISTANCE GALLIUM NITRIDE
LIGHT-EMITTING DEVICE AND MANUFACTURE
THEREOF**

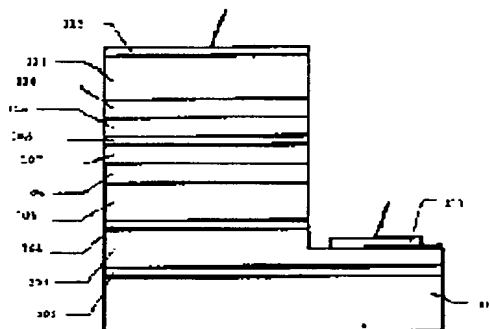
the electrode can be reduced in contact resistance.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the contact resistance between a gallium nitride semiconductor and an electrode by a method, wherein a first layer which forms the electrode coming into contact with the semiconductor is formed of indium.

SOLUTION: An n electrode 213s first layer coming into contact with a gallium nitride contact layer 111 is formed of indium, so as to lessen a contact resistance between the n electrode 213 and the contact layer 111. The n electrode 213 is composed of an indium layer (first layer), a titanium layer (second layer), and an aluminum layer (third layer). In such a structure, when the electrode and the contact layer are alloyed, gallium nitride contained in the contact layer and indium contained in the first layer of the n electrode are alloy into $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$). A forbidden band energy of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ is smaller than that of gallium nitride, so that an interface Schottky barrier between the contact layer and the metal electrode becomes low. Therefore,



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-40890

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月12日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平9-189885

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月15日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 木村 明隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 仁道 正明

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

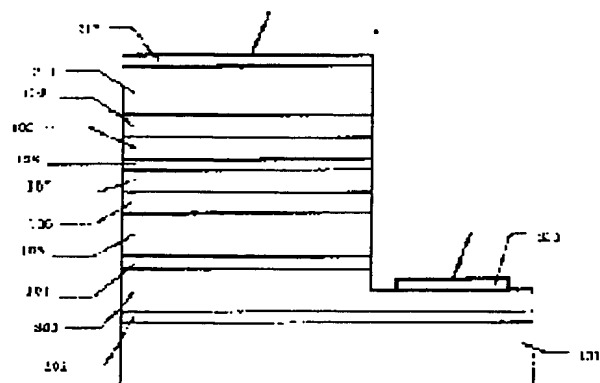
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 低抵抗窒化ガリウム系発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 電極の接触抵抗の低い窒化ガリウム系発光素子、特に窒化ガリウム系発光発光素子を実現する。

【解決手段】 コンタクト層として窒化ガリウムよりも禁制帯エネルギーが小さい $\text{Ga}_{1-x}\text{As}_x$ ($0.2 \leq x \leq 1$)を用いる。コンタクト層材料は、少なくともp電極側に用いることが好ましい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む窒化ガリウム系発光素子において、n電極を構成し半導体に接する第1層としてインジウムを用いることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項2】前記n電極は、インジウム（第1層）およびチタン（第2層）およびアルミニウム（第3層）から構成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系発光素子。

【請求項3】窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む窒化ガリウム系発光素子の製造方法において、コンタクト層上に半導体に接する第1層としてインジウムを用いるn電極を形成し、アロイにより前記コンタクト層中に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) を形成することを特徴とする窒化ガリウム系発光素子の製造方法。

【請求項4】窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む窒化ガリウム系発光素子であって、電極に対するコンタクト層として、窒化ガリウムよりも禁制帯エネルギーが小さいGaAsを用いたことを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項5】窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む窒化ガリウム系発光素子であって、電極に対するコンタクト層として、禁制帯エネルギーが零以下となる $\text{Ga}_{1-x}\text{As}_x$ ($0.2 \leq x \leq 0.8$)を用いたことを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【0002】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む発光素子（以下単に窒化ガリウム系発光素子）に関し、特に、電極の接触抵抗の低い窒化ガリウム系発光素子、及びその製造方法に関する。

【0003】

【従来の技術】窒化ガリウムは、燐化インジウムや砒化ガリウムといった従来の一般的な化合物半導体に比べ、禁制帯エネルギーが大きい。そのため、窒化ガリウム系の化合物半導体は緑から紫外にかけての発光素子（半導体レーザ（以下単にレーザ）や発光ダイオード）への応用が期待されている。

【0004】従来、一般に、電流注入による窒化ガリウム系発光素子のp電極およびn電極に対するコンタクト層としては、p型窒化ガリウムおよびn型窒化ガリウムが用いられていた。図4は、このような従来技術による代表的な窒化ガリウム系レーザの概略断面図である（S、

Nakamura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) L74)。この窒化ガリウム系レーザは、(0001)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのn型窒化ガリウムコンタクト層203、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガイド層106、厚さ25Å（オングストローム）のアンドープの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンドープの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる26周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネシウムが添加された厚さ200Å（オングストローム）のp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層108、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.5μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111、ニッケル（第1層）および金（第2層）からなるp電極112、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2層）からなるn電極113が形成されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このような従来技術による窒化ガリウム系レーザに於いては、電極に対するコンタクト層として用いられている窒化ガリウムの禁制帯エネルギーが3.4eVと大きいことから、電極の接触抵抗が高いという問題があった。例えば、n電極の接触抵抗は $8 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度と比較的低いものの（M. E. Lin et al., Appl. Phys. Lett. 64 (1994) p. 1003）、さらなる低減により発光素子の発熱の抑制等が期待される。

【0006】また、窒化ガリウム系化合物半導体に於ける代表的なp型のドーパントはマグネシウムであるが、一般に結晶成長によりマグネシウムを添加した窒化ガリウム層が形成された直後はマグネシウムが不活性である。その後の熱や電子線を用いたアニールによりマグネシウムのある程度の活性化は可能であるものの、その活性化率はあまり高くなく、p型のキャリア濃度をある程度以上高めることは困難であった。そのため、特にp電極の接触抵抗は大きく、 $6 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度であった（小林ら、1995年（平成7年）秋季第56回応用物理学会学術講演会予稿集20a-V-1）。

【0007】本発明の目的は、窒化ガリウム系半導体と電極との接触抵抗を低くし、電極の接触抵抗の低い窒化ガリウム系発光素子を実現することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系発光素子は、窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも

1層含む窒化ガリウム系発光素子において、n電極を構成し半導体に接する第1層としてインジウムを用いることを特徴とする。また前記n電極は、インジウム（第1層）およびチタン（第2層）およびアルミニウム（第3層）から構成されていることを特徴とする。

【0009】さらに本発明の窒化ガリウム系発光素子の製造方法は、窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む窒化ガリウム系発光素子の製造方法において、

【0010】さらに、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む窒化ガリウム系発光素子であって、電極に対するコンタクト層として、窒化ガリウムよりも禁制帯エネルギーが小さいGaNAsを用いたことを特徴とする。また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶の層を少なくとも1層含む窒化ガリウム系発光素子であって、電極に対するコンタクト層として、禁制帯エネルギーが零以下となる $\text{Ga}_{1-x}\text{As}_x$ ($0.2 \leq x \leq 0.8$)を用いたことを特徴とする。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、実施例に基づき図面を参照して詳しく説明する。

【0012】《実施例1》実施例1では、n電極と窒化ガリウム系コンタクト層との接触抵抗を低くするために、コンタクト層と接するn電極の第1層としてインジウムを採用した。

【0013】図1はこのようにして形成した窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図1に於いて、窒化ガリウム系レーザは、(0001)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンダーブの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのn型窒化ガリウムコンタクト層203、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガイド層106、厚さ25Å（オングストローム）のアンダーブの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンダーブの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる26周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネシウムが添加された厚さ200Å（オングストローム）のp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層108、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}$

0.85Nクラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.5μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111、ニッケル（第1層）および金（第2層）からなるp電極112、インジウム（第1層）およびチタン（第2層）およびアルミニウム（第3層）からなるn電極213が形成されている。

【0014】本実施例の窒化ガリウム系レーザでは、コンタクト層と接するn電極の第1層としてインジウムが用いられており、電極とコンタクト層のアロイを行なった際に、n電極に対するコンタクト層の窒化ガリウムとn電極第1層のインジウムが合金化し、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)が生じる。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)の禁制帯エネルギーは窒化ガリウムの禁制帯エネルギーより小さいため、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザに比べ、コンタクト層と金属電極界面のショットキー障壁が低くなる。よって、n電極に対するコンタクト層のキャリア濃度が同程度の場合、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザに比べ、電極の接触抵抗が小さくなる。即ち、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザよりも、発振しきい値電流を小さく、かつ発振しきい値電圧を低くできる。

【0015】本実施例ではn電極としてインジウム（第1層）およびチタン（第2層）およびアルミニウム（第3層）の例を示したが、これに限られるものではなく、コンタクト層に接する電極がインジウムを含むものであればよい。

【0016】なお、本実施例の窒化ガリウム系レーザに於いて、電極とコンタクト層のアロイを行なった際に生じる $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)は、n型になりやすい。よって、p電極の第1層としてインジウムを用いることは不適切である。

【0017】《実施例2》実施例2では、pおよびn電極と窒化ガリウム系コンタクト層との接触抵抗を低くするために、pおよびn電極に対するコンタクト層として $\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.9}$ を採用した。

【0018】図2はこのようにして形成した窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図2に於いて、窒化ガリウム系レーザは、(0001)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンダーブの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのn型 $\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.9}$ コンタクト層303、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガイド層106、厚さ25Å（オングストローム）のアンダーブの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンダーブの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる26周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネ

シウムが添加された厚さ200Å（オングストローム）のp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層108、マグネシウムが添加された厚さ0.1 μm のp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4 μm のp $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.5 μm のp型 $\text{GaNo.1As}_{0.9}$ コンタクト層311、ニッケル（第1層）および金（第2層）からなるp電極112、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2層）からなるn電極113が形成されている。

【0019】本実施例の窒化ガリウム系レーザでは、p電極およびn電極に対するコンタクト層として $\text{GaNo.1As}_{0.9}$ が用いられている。 $\text{GaN}_{1-x}\text{As}_x$ ($0 < x \leq 1$) 禁制帯エネルギーは窒化ガリウムの禁制帯エネルギーより小さいため（近藤ら、応用物理Vol. 65, No. 2 (1996) p. 148）、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザに比べ、コンタクト層と金属電極界面のショットキー障壁が低い。よって、p電極およびn電極に対するコンタクト層のキャリア濃度が同程度の場合、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザに比べ、電極の接触抵抗が小さくなる。即ち、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザよりも、発振しきい値電流を小さく、かつ発振しきい値電圧を低くすることができる。

【0020】《実施例3》実施例2では、pおよびn電極と窒化ガリウム系コンタクト層との接触抵抗を低くするために、窒化ガリウム系レーザのpおよびn電極に対するコンタクト層として $\text{GaNo.5As}_{0.5}$ を採用した。

【0021】図3はこのようにして形成した窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図3に於いて、窒化ガリウム系レーザは、(0001)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3 μm のn型 $\text{GaNo.5As}_{0.5}$ コンタクト層403、珪素が添加された厚さ0.1 μm のn型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層104、珪素が添加された厚さ0.4 μm のn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1 μm のn型窒化ガリウム光ガイド層106、厚さ25Å（オングストローム）のアンドープの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンドープの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる26周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネシウムが添加された厚さ200Å（オングストローム）のp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層108、マグネシウムが添加された厚さ0.1 μm のp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4 μm のp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.5 μm のp型 $\text{GaNo.5As}_{0.5}$ コンタクト層411、ニッケル（第1層）および金（第2層）からなるp電極112、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2

層）からなるn電極113が形成されている。

【0022】本実施例の窒化ガリウム系レーザでは、p電極およびn電極に対するコンタクト層として $\text{GaNo.5As}_{0.5}$ が用いられている。 $\text{GaN}_{1-x}\text{As}_x$ ($0 < x \leq 1$) の禁制帯エネルギーは窒化ガリウムの禁制帯エネルギーより小さく、特に $0.2 \leq x \leq 0.8$ 程度の場合禁制帯エネルギーが負の半金属になるため（近藤ら、応用物理 Vol. 65, No. 2 (1996) p. 148）、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザと異なり、コンタクト層と金属電極界面のショットキー障壁がない。よって、p電極およびn電極に対するコンタクト層のキャリア濃度が同程度の場合、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザに比べ、電極の接触抵抗が極めて小さい。即ち、本実施例の窒化ガリウム系レーザは、従来技術による窒化ガリウム系レーザよりも、発振しきい値電流が小さく、かつ発振しきい値電圧が低い。

【0023】本発明は、上述した実施例に示される構造の窒化ガリウム系レーザに於いてのみ有効であるという訳ではなく、あらゆる層構造の窒化ガリウム系レーザに於いて有効である。なお、本発明はp電極側・n電極側の両方に適用する必要はなく、一方の電極のみに適用しても十分に効果がある。また、本発明は、窒化ガリウム系のレーザに於いてのみ有効であるという訳ではなく、窒化ガリウム系の発光ダイオードに於いても電極の接触抵抗低減に有効である。

【0024】また、各実施例における半導体層（実施例2、3のコンタクト層を除く）は、これに限られるものではなく、窒化ガリウムまたは窒化インジウムまたは窒化アルミニウムまたはそれらの混晶で適宜選択可能であることは言うまでもない。

【0025】

【発明の効果】以上説明したように、本発明には、窒化ガリウム系発光素子の電極または電極に対するコンタクト層に新規な材料を採用することにより、窒化ガリウム系発光素子で問題になっている電極の接触抵抗の高さを解消することが可能であるという効果があり、例えば窒化ガリウム系レーザの場合は発振しきい値電流および発振しきい値電圧の低減を図ることが出来、例えば窒化ガリウム系発光ダイオードの場合は必要な光出力を得るための動作電流および動作電圧の低減を図ることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1に於いて、pおよびn電極の第1層としてインジウムを採用した窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図2】実施例2に於いて、pおよびn電極に対するコンタクト層として $\text{GaNo.1As}_{0.9}$ を採用した窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図3】実施例3に於いて、pおよびn電極に対するコ

7

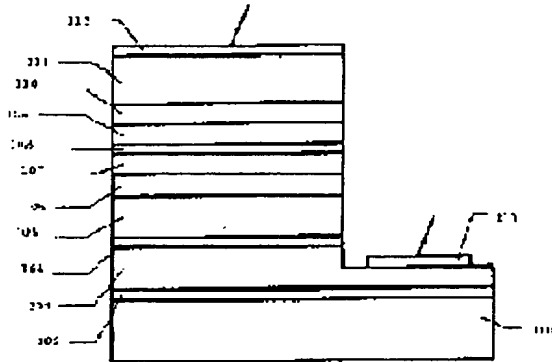
ンタクト層として GaNo.5As0.5 を採用した窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図4】従来技術により、pおよびn電極に対するコンタクト層として窒化ガリウムを採用した、代表的な窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

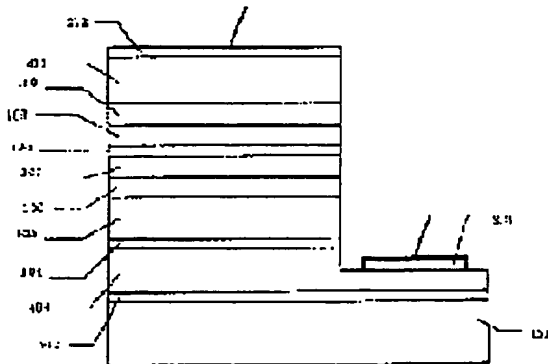
【符号の説明】

- 101 サファイア基板
- 102 窒化ガリウム低温成長バッファ層
- 104 n型 In0.1Ga0.9N 層
- 105 n型 Al0.15Ga0.85N 層
- 106 n型窒化ガリウム光ガイド層
- 107 $\text{In0.2Ga0.8N/In0.05Ga0.95N}$ 多重量子井戸活性層
- 108 p型 Al0.2Ga0.8N 層

【図1】



【図3】

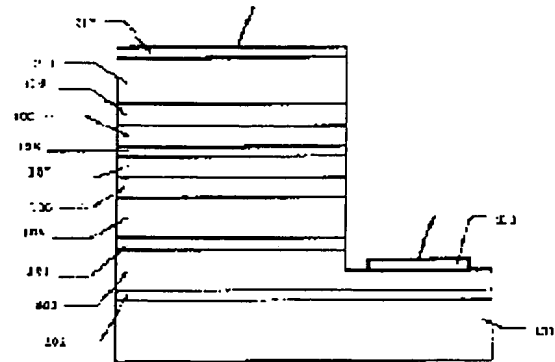


8

- 109 p型窒化ガリウム光ガイド層
- 110 p型 Al0.15Ga0.85N クラッド層
- 111 p型窒化ガリウムコンタクト層
- 112 ニッケルおよび金からなるp電極
- 113 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 203 n型窒化ガリウムコンタクト層
- 212 インジウムおよびニッケルおよび金からなるp電極
- 213 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 303 n型 GaNo.1As0.9 コンタクト層
- 311 p型 GaNo.1As0.9 コンタクト層
- 403 n型 GaNo.5As0.5 コンタクト層
- 411 p型 GaNo.5As0.5 コンタクト層

10

【図2】



【図4】

